



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marko Hölsö

# DYNAMOLEVYJEN ROBOTISOITU SIIRTO

Tekniikka  
2019

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Marko Hölsö
Opinnäytetyön nimi	Dynamolevyjen robotisoitu siirto
Vuosi	2019
Kieli	Suomi
Sivumäärä	48
Ohjaaja	Osku Hirvonen ja Aki Alanen

---

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB:n Motors & Generators -yksikölle Vaasaan. Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia höyrystävän laserleikkauksen tuottamien staattori- ja roottorilevyjen robotisoitua siirtoa tuotantolinjalla.

Opinnäytetyössä tutustutaan staattori- ja roottorilevyjen tuotantoon, laserleikkaukseen, nestaukseen, robotiikan historiaan, robotiikkaan ja eri robotteihin. Visual Components -ohjelman avulla tutkin eri robottien ominaisuuksia ja soveltuvuutta dynamolevyjen robotisoituun siirtoon.

Keskeisimpänä havaintona on se, että höyrystävä laserleikkakone määrittelee kokonaisuudessaan sen, mitä robotteja käytetään, miten ne järjestetään sekä kuinka monta robottia dynamolevyjen robotisoituun siirtoon tarvitaan. Opinnäytetyö sisältää myös jatkokehityksiä.

## ABSTRACT

Author	Marko Hölsö
Title	Robotic transmission of dynamo plates
Year	2019
Language	Finnish
Pages	48
Name of Supervisor	Osku Hirvonen and Aki Alanen

---

This thesis has been prepared for ABB's Motors & Generators unit in Vaasa. The purpose of this thesis is to study the robotized transfer of stator and rotor electric discs produced by vaporizing laser cutting on the production line. With Visual Components, I investigate the capabilities and suitability of different robots for the robotized transfer of dynamo disks.

The thesis introduces the production of stator and rotor plates, laser cutting, nesting, history of robotics, robotics and various robots. With Visual Components, I investigate the capabilities and suitability of different robots for the robotized transfer of dynamo disks.

The key finding is that the vaporizing laser cutting machine defines in its entirety which robots are used, how they are arranged, and how many robots are needed for the robotized transfer of dynamo plates. The thesis also contains further development topics.

---

Keywords	Robot, dynamo plate, layout, laser
----------	------------------------------------

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	8
2	ABB SUOMESSA.....	9
2.1	ABB Robotics .....	9
2.1.1	ABB Oy, Motors & Generators .....	10
2.1.2	ABB Oy Motors & Generators Vaasa.....	11
3	ROBOTIIKAN HISTORIA.....	12
3.1	Teollisuusrobotit .....	13
3.2	Teollisuusrobottien historia .....	13
4	ROBOTIIKKA .....	15
4.1	Robottien käyttö ja käyttökohteet .....	15
4.2	Robotti, rakenteiden jaottelua .....	15
4.2.1	Portaalirobotti.....	15
4.2.2	Sylinteri ja napakoordinaatistorobotti .....	16
4.2.3	SCARA-robotti .....	17
4.2.4	Kiertyvänivelinen robotti .....	18
4.2.5	Rinnakkaisrakenteinen robotti .....	18
4.3	Robottien käyttövoima.....	19
4.4	Koordinaatisto ja liikkeiden hallinta.....	19
4.5	Liikeratojen ohjelmointi.....	20
4.6	Tarkkuus .....	20
4.7	Työkalut ja tarraimet.....	21
4.8	Turvallisuus.....	21
4.8.1	Yleisimmät vaaratekijät roboteilla .....	22
5	DYNAMO- JA STAATTORILEVYJEN VALMISTUS.....	23
5.1	Staattorilevyn valmistus.....	23
5.2	Roottorilevyn valmistus .....	24
6	ROBOTILAJITTELUA EDELTÄVIÄ VAIHEITA .....	25

6.1	Laserleikkaus .....	25
6.2	Höyrystävä laserleikkaus .....	26
6.3	Nestaus .....	26
6.4	Visual Component .....	27
7	OPINNÄYTETYÖN KÄYTÄNNÖN VAIHEET .....	29
7.1	Toteutus.....	33
7.2	Ensimmäinen nestaus.....	34
7.3	Toinen nestaus .....	35
7.4	Kolmas nestaus .....	35
7.5	Robotisoidun poiminnan layout-vaihtoehtoja.....	36
7.6	Robotisoituun poimintaan valittu portaalirobotti.....	37
8	POHDINTA.....	41
	LÄHTEET .....	46
	LYHENTEET JA MERKINNÄT	

## LIITTEET

**KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO**

<b>Kuva 1.</b> Diesel Generaattori	11
<b>Kuva 2.</b> Pienjännitemoottoreita /12/	11
<b>Kuva 3.</b> IRB6-Robotti /4/	13
<b>Kuva 4.</b> Unimate-1900 Robotti /5/	14
<b>Kuva 5.</b> Portaalirobotti /6/	16
<b>Kuva 6.</b> Sylinterirobotti (vas.) ja napakoordinaatistorobotti /7/	17
<b>Kuva 7.</b> ABB IRB 910SC SCARA-robotti /13/	17
<b>Kuva 8.</b> ABB IRB7600 Kiertyvänivelinen robotti /14/	18
<b>Kuva 9.</b> ABB IRB360 FlexPicker /15/	19
<b>Kuva 10.</b> Taulukko toistotarkkuuksista /17/	21
<b>Kuva 11.</b> Kuvia tuotannon eri vaiheista	23
<b>Kuva 12.</b> Höyrystävän laserleikkauksen periaate /21/	26
<b>Kuva 13.</b> Kuvakaappaus Fraunhoferin videosta	30
<b>Kuva 14.</b> Prosessikuvaus yksinkertaistettuna	33
<b>Kuva 15.</b> Ensimmäinen layout	34
<b>Kuva 16.</b> Ensimmäinen nesti	34
<b>Kuva 17.</b> Toinen nesti	35
<b>Kuva 18.</b> Kolmas nesti	36
<b>Kuva 19.</b> IRB6620_LX Sideslung layout	38
<b>Kuva 20.</b> Portaalirobotti layout	38
<b>Kuva 21.</b> Viimeisin layout	40

**Lyhenteet ja merkinnät**

2D	Kaksiulotteinen
3D	Kolmiulotteinen
ABB	Asea Brown Boweri
NX	Tietokoneavusteisen suunnittelun ohjelmisto
Visual Components	Tietokoneavusteinen suunnittelu ohjelmisto
Fraunhofer	Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT
Kuitulaser	Lasersäde ohjataan kuljetuskuidun avulla
Azipod	Propulsiojärjestelmä
Dxf	Drawing Interchange Format tiedostomuoto
Step	ISO 10303 määrittelemä tiedostomuoto 3D-kappaleille
NcExpress	CAD/CAM-ohjelmisto levytyöstöön, nestaukseen
QR-Koodi	Kaksiulotteinen kuviokoodi
Auto Cad	Tietokoneavusteinen suunnittelu ohjelmisto
Staattorilevy	Sähkömoottorin kiinteä osa
Roottorilevy	Sähkömoottorin pyörivä osa
JetCam	CAD/CAM-ohjelmisto levytyöstöön, nestaukseen

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin ABB Motors & Generators Oy:n Vaasan tehtaalle. Opinnäytetyön tarkoituksena on löytää paras mahdollinen yhdistelmä robotteja käsittelemään dynamolevyjen robotisoitua siirtoa niiden tullessa höyrystävästä laserleikkauksesta kuljettimelle.

Tutkimuskohteeksi valittiin dynamolevyjen valmistusprosessista vaihe, jossa valmiiksi leikatut staattori- ja roottorilevyt siirtyvät robottien käsiteltäväksi. Visual components-ohjelman avulla kokeilin useampaa eri yhdistelmää robotteja, jotka käsittelevät staattori- ja roottorilevyjä. Tässä työssä tuodaan esille kolme hyvää yhdistelmävaihtoehtoa. Dynamolevyjen robotisoitua siirtoa suunniteltaessa on kiinnitettävä huomioita useaan eri seikkaan. Höyrystävä laserleikkaus on nopeaa ja leikkattava dynamolevy on ohutta. Laserin leikkauksenopeus ja levyn ohuus asettavat rajoituksia robottien valinnalle. Tässä työssä robottien valinnasta, kokonaisuudesta ja asettelusta käytetään nimitystä layout. Staattori- ja roottorilevyistä käytetään yhteisnimitystä dynamolevy.



## **2 ABB SUOMESSA**

ABB on johtava teknologian edelläkävijä, jolla on kattava tarjonta teollisuuden digitalisaatioon. Innovaatiot ovat jatkuneet yli 130 vuoden ajan ja tänä päivänä ABB on digitaalisten teollisuudenalojen johtava toimija. ABB toimii yli 100 maassa ja työllistää noin 147000 henkilöä, joista Suomessa työskentelee noin 5400 henkilöä.

Suomessa ABB toimii noin 20 paikkakunnalla. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Haminassa, Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa.

Haminassa valmistetaan Azipod-ruoripotkurijärjestelmät.

Helsingin Pitäjänmäellä valmistetaan moottorit, generaattorit, taajuusmuuttajat, energianhallinta-, linjakäyttö-, sähköistys-, ja instrumentointiratkaisut, tehdasjärjestelmät ja kunnossapitopalvelut.

Helsingin Vuosaarella valmistetaan sähköistys- ja automaattioratkaisut meriteollisuuteen.

Vaasassa valmistetaan sähkömoottorit, erikoismuuntajat, kytkintuotteet, releet, sähköverkon ohjauslaitteistot, valvonta ja automaatiolaitteistot, sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmät, energianhallinta-, linjakäyttö-, sähköistys-, ja instrumentointiratkaisut sekä tehdastietojärjestelmät.

Porvoossa valmistetaan sähköasennustuotteita.

Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisista työnantajista, pääkaupunkiseudulla suurin. /11/.

### **2.1 ABB Robotics**

ABB on johtava teollisuusrobottien, modulaaristen valmistusjärjestelmien ja robottipalvelujen tuottaja. Vahvasti ratkaisuihin painottuneet palvelut parantavat teollisten tuotteiden valmistuksen tuottavuutta, tuotteiden laatua ja turvallisuutta. ABB on toimittanut Suomeen jo yli 3000 robottia ja asentanut maailmanlaajuisesti yli 250.000 robottia.

ABB valmistaa teollisuusrobotteja, modulaarisia valmistusjärjestelmiä, ohjelmistoja sekä robottipalveluja teollisuusasiakkaiden materiaalinkäsittelytehtäviin ja prosesseihin.

ABB:n robotit hitsaavat, maalaavat, pakkaavat ja kokoonpaneavat. Ne tehostavat ja optimoivat tuotantoprosesseja, parantavat niiden luotettavuutta ja turvallisuutta sekä varmistavat tuotteiden laadun.

Robotics-liiketoimintalinja Suomessa sijaitsee Vantaalla ja palvelee suomalaisia asiakkaita. Myynnin, järjestelmäsuunnittelun ja käyttöönottopalveluiden lisäksi yksikön tarjontaan kuuluvat varaosamyynti ja huolto sekä koulutuspalvelut.

Maailmanlaajuisesti ABB:n Robotics-liiketoimintalinja työllistää yli 5000 henkilöä 50:ssä eri maassa. /8/.

### **2.1.1 ABB Oy, Motors & Generators**

Kaikesta tuotetusta sähköenergiasta teollisuus kuluttaa 40 %. Maailmalla käytetystä sähköenergiasta sähkömoottoreiden pyörittämiseen kuluu yli 28 %. ABB on edelläkävijä energiatehokkaiden moottoreiden kehittämisessä. ABB:n Motors & Generators -liiketoimintalinja Suomessa panostaa vahvasti korkean hyötysuhteen moottoreiden ja generaattoreiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Motors & Generators -liiketoimintalinja Suomessa kehittää ja valmistaa moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuudenaloille ja kaikkiin sovelluksiin maailmanlaajuisesti. Tehtaat sijaitsevat Helsingissä ja Vaasassa. ABB:n Vaasassa sijaitsevalla tehtaalla on maailmanlaajuinen vastuu yhtiön pienjännitemoottoreiden valmistuksesta ja tuotekehityksestä vaativiin käyttöihin. Helsingin Pitäjänmäellä sijaitsevassa tehtaassa kehitetään ja valmistetaan muun muassa korkeajännitemoottoreita, dieselgeneraattoreita ja kestromagneettimoottoreita.

Maailmanlaajuisesti ABB:n moottori- ja generaattoriliiketoiminta työllistää 13 000 henkeä 31:ssä tehtaassa 9:ssä maassa. Suomessa liiketoiminta työllistää 1520 henkilöä, joista Vaasassa 550 ja Helsingissä 900. /9/.



**Kuva 1.** Dieselgeneraattori.

### **2.1.2 ABB Oy Motors & Generators Vaasa**

Vaasan liiketoimintayksikkö valmistaa moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuuden aloille ja kaikkiin sovelluksiin asiakaskohtaisten vaatimusten mukaisesti. Vaasassa Motors and Generators on jaettu kahteen tehtaaseen, KK-, ja MM-rakennuksiin. KK-rakennuksessa valmistetaan moottoreita, joiden runkokoko on 71—250 ja MM-rakennuksen keskittyessä 280—500. /16/.



**Kuva 2.** Pienjännitemoottoreita. /12/

### 3 ROBOTIIKAN HISTORIA

Sana robotti on peräisin tšekinkielen sanasta 'robota', joka tarkoittaa pakkotyötä. Yleisesti robotti tarkoittaa mekaanista laitetta tai konetta, joka osaa jollain tavoin toimia fyysisesti maailmassa. Ensimmäisen kerran sana robotti esiintyi ensi-iltansa 25.1.1921 saaneessa Karel Capekin näytelmässä R.U.R (Rossumonin universaalit robotit). Alkujaan tšekinkielisellä robotti-sanalla tarkoitettiin etymologian mukaisesti työläistä tai orjaa. Tämä vaikuttaa robotti sanan merkitykseen yhä niin, että mikä tahansa automaatti ei ole robotti vaan robotilla on oltava joitakin ihmisen käskyjä tottelevia piirteitä. Esimerkiksi teollisuusrobottina käytetty nivelrobotti matkii ihmisen käsivarren rakenteita. /1/.

Vuonna 1738 Jacques de Vaucanson rakensi ensimmäisen toimivan robotin. Vaucansonin robotti pystyi soittamaan huilua. Myöhemmin hän rakensi myös mekaanisen ankan, joka kuvausten mukaan söi jyviä ja ulosti. Varsinaisten tietokoneohjattujen robottien, eli nykyisten teollisuusrobottien historia alkoi amerikkalaisten George Devolin ja Joseph F. Engelbergerin perustaessa yrityksen nimeltä Unimation 1956. Unimation toi ensimmäisenä markkinoille hydraulisen, teollisesti käyttökelpoisen tietokoneohjatun robotin 1970-luvun alussa. Strömberg (nykyään ABB) hankki tällaisen Helsingin Pitäjänmäen tehtaalle 1974. Asea Ab (nykyään ABB) kehitti 1970-luvun lopulla ensimmäisen sähköservoilla toteutetun robotin IRB6, vahaamaan ja kiillottamaan ruostumattomasta teräksestä tehtyjä putkia. /1/.



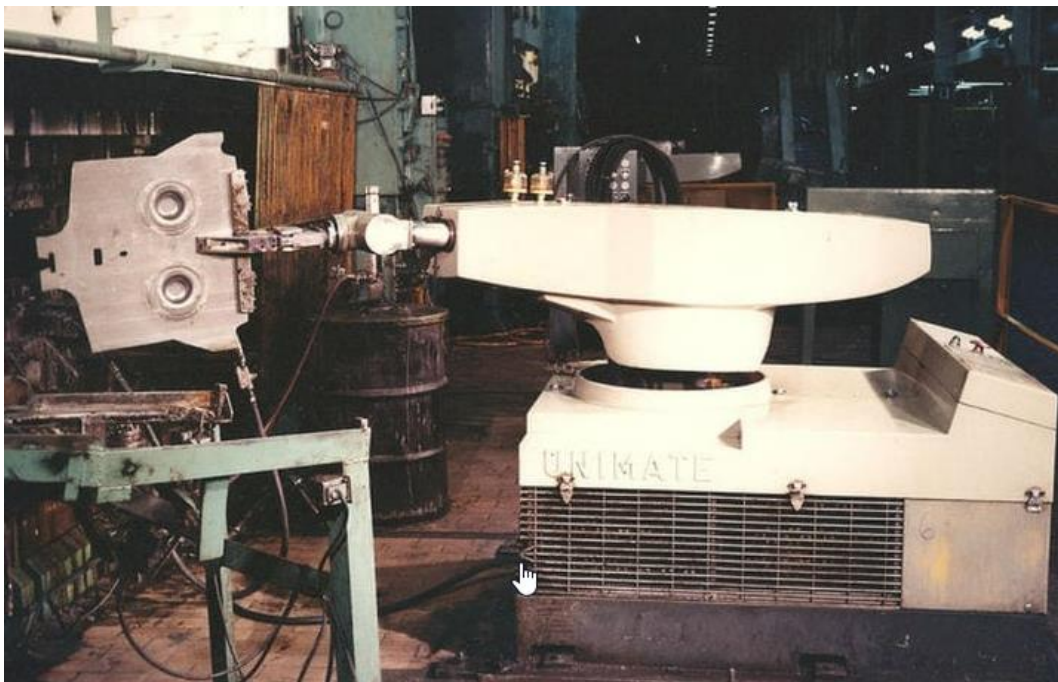
**Kuva 3.** IRB6-Robotti /4/

### **3.1 Teollisuusrobotit**

Teollisuusrobotti on tietokoneohjattu työkappaleita tai työvälineitä käsittelevä yleiskäyttöinen kone, robotti. Yleiskäyttöisyys tarkoittaa sitä, että ohjelma, jonka mukaan robotti toimii, on helposti muutettavissa ja samaa robottia voidaan käyttää useisiin käyttötarkoituksiin. Robotin liikkeet voidaan toteuttaa sähköisten, pneumaattisten tai hydraulisten toimilaitteiden avulla. /28/

### **3.2 Teollisuusrobottien historia**

1960-luvulla alettiin kehittää teollisuusrobotteja Yhdysvalloissa. Alan pioneeriyritys Unimation Incorporated, joka vuonna 1961 toi markkinoille ensimmäisen teollisuusrobotin Unimate 1000, joka asennettiin samana vuonna General Motorsin auton osia valmistavalle tehtaalle painevalukoneen palveluun. /2/. Vuonna 1969 General Motors automatisoi Lordstownin tehtaansa Ohiossa, jossa se pystyi tuottamaan 110 autoa tunnissa. Tämä oli kaksi kertaa enemmän kuin mikään muu tuon aikainen tehdas. /2/.



**Kuva 4.** Unimate-1900-robotti. /5/

## 4 ROBOTIIKKA

### 4.1 Robottien käyttö ja käyttökohteet

Kaikkien robottien perustana on uudestaan ohjelmoitavat liikkeet. Kun tuotanto muuttuu, robotin ohjelma voidaan sekunnissa vaihtaa käsittelemään uutta tuotetta. Roboteissa on myös rakenteellista joustavuutta, sillä robottikättä, jota on käytetty koneenpalvelussa, voidaan uudelleen työllistää lavauksessa tai jopa hitsauksessa kohtuullisella muokkauksella, vaihtamalla hitsaustyökalun ja ohjelmoimalla uudet työstöradat. Teollisuudessa robotteja on yleisimmin käytössä metalli-, muovi-, ja elintarviketeollisuudessa. Suomen Robotiikkayhdistyksen tilastojen mukaan Suomessa on vuosikymmenten mittaan investoitu noin 9 200:aan robottiin, joista arvioidaan noin 5 000:n robotin olevan edelleen hyötykäytössä. Keskimääräinen robotin elinikä on Suomessa 15 vuotta ja hyvin huollettuna ja kunnostettuna robotin elinikää voidaan pidentää reilusti. /3/.

Robotiikkaan investoiminen on nousussa maailmanlaajuisesti. Vuonna 2016 robotisovellusten määrässä on rikottu uusia ennätyksiä. Kaikkiaan vuonna 2016 investitiin 294.000:n robottiin, joka on 16 % enemmän kuin vuonna 2015. /3/.

### 4.2 Robotti, rakenteiden jaottelua

Mekaniikkansa suhteen teollisuusrobotit voidaan jakaa nivelrobotteihin ja lineaarisesti liikkuviin portaalirobotteihin.

#### 4.2.1 Portaalirobotti

Suorakulmainen robotti, lineaariliikkeillä toteutettu, jollaisia ovat muun muassa portaalirobotit (gantry robots). (**Kuva 5**).



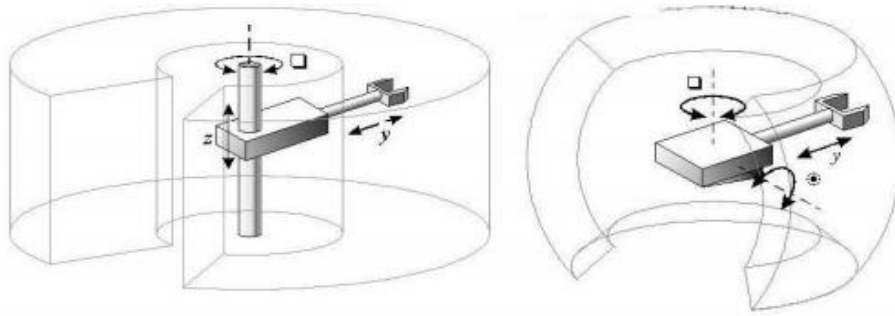
**Kuva 5.** Portaalirobotti. /6/

#### 4.2.2 Sylinteri ja napakoordinaatistorobotti

Sylinterirobotissa on yksi kokonaan rakennetta kääntävä pyörivä akseli. Muut sylinterirobotin liikkeet ovat lineaarisia.

Napakoordinaatistorobotissa on koko rakennetta kääntävä akseli sekä käsivartta pystysuunnassa kääntävä akseli muiden akselien ollessa lineaarisia. Tämä on harvinainen ratkaisu ja käytetään usein erikoissovelluksiin. (**Kuva 6**).





**Kuva 6.** Sylinterirobotti (vas.) ja napakoordinaatistorobotti. /7/

#### 4.2.3 SCARA-robotti

SCARA-robotit ovat robotteja, joilla nivelet ovat vaakatasossa ja pystysuuntainen liike lineaarinen. Sana SCARA muodostuu sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm. SCARA-roboteilla on yleensä vain neljä vapausastetta. Rakenteen etuna on jäykkyys pystysuunnassa. SCARA-robotteja käytetään elektroniikan ja muun pienikokoisen mekaniikan kokoonpanossa. (**Kuva 7**).



**Kuva 7.** ABB IRB 910SC SCARA -robotti. /13/

#### 4.2.4 Kiertyvänivelinen robotti

Kiertyvänivelinen robotti muistuttaa rakenteeltaan ihmisen käsivartta. Kiertyvänivelisellä robotilla on yleensä kuusi vapaasti ohjelmoitavaa niveltä. Tällöin nivelkäsivarren päässä oleva kappale tai työkalu voidaan asettaa robotin ulottuvuuden puitteissa kaikkiin mahdollisiin kulmiin. Nivelrobotti on soveltuvuudeltaan monipuolisin robottirakenne. (**Kuva 8**).



**Kuva 8.** ABB IRB7600 Kiertyvänivelinen robotti. /14/

#### 4.2.5 Rinnakkaisrakenteinen robotti

Rinnakkaisrakenteisissa roboteissa on kolmen lineaariliikkeen varassa työkalulaippa. Rinnakkaisrakenteiset robotit ovat tukevia ja nopeita. Tällaiset robotit on asennettu roikkumaan telineestä ja niillä on suhteellisen rajoittunut ulottuvuus. Kolmipistetuetulla rinnakkaisrakenteella voidaan tehdä nopeita, niin sanottuja ”Pick&Place-robotteja”. (**Kuva 9**)



**Kuva 9.** ABB IRB360 FlexPicker /15/

### 4.3 Robottien käyttövoima

Hydraulisia robotteja käytetään silloin, kun siirrettävät kuormat ovat suuria, sadasta kilosta jopa kymmeneen tonneihin. Voimakkaimmilla sähkökäyttöisillä roboteilla maksimikuorma on yli tuhat kiloa. Robotteihin on kehitetty suorakäyttöisiä sähkömoottoreita, joita käytettäessä voidaan jättää vaihteistot pois. Näitä käytetään erityisesti SCARA-roboteissa. Paineilmalla toimivia pneumaattisia robotteja käytetään muun muassa räjähdysherkiksi luokitelluissa tiloissa. /2/.

### 4.4 Koordinaatisto ja liikkeen hallinta

Teollisuusrobottien työalueen avaruus hallitaan koordinaatistolla. Koordinaatistoja voi olla kolmekin yhtä aikaa käytössä. Työkalukoordinaatisto määrittää työkalun asennon. Peruskoordinaatisto on sidottu robotin jalustaan. Maailmakoordinaatisto on nivelroboteilla käytössä silloin, kun robotti on asennettu servo-ohjatulle kelkalle. Perinteiselle kuusiakselisen käsivarren asennon määrittämiselle tarvitaan kolme kulmatietoa ranneakseleista ja kolme kulmatietoa jalustaan sidotusta koordinaatistosta. Robotin oma ohjaus tietää akselien pituuden ja laskee näiden avulla x,y,z-koordinaatit. Kun nivelrobotti siirtää esimerkiksi hitsaustyökalua pitkin lineaarisesta hitsisaumasta, se joutuu kääntämään kaikkia akseleitaan. Samoin nivelrobotille voidaan määrätä ulkoinen piste esimerkiksi hitsauskolvin kärkeen siten, että tuo piste pysyy paikoillaan robotin vaihtaessa työkalun kulmaa. /29/

#### 4.5 Liikeratojen ohjelmointi

Robotille on opetettava liikeradat, jotta se saadaan toimimaan halutusti. Liikeratojen opettamisessa on käytössä seuraavia menetelmiä. Opettaminen, jossa robotti ajetaan yleensä ohjaussauvan avulla haluttuun asemaan, minkä jälkeen akselien asema talletetaan osaksi ohjelmaa. Näin liikerata muodostuu opetettujen ratapisteiden ketjusta. Koordinaattien antamista käytetään vain rajoitetuissa tapauksissa, kuten vakiosiirrymissä esimerkiksi 300mm ylöspäin.

Robottien opettamisen viedessä paljon tuotantoaikaa on etäohjelmointi tullut yhä tärkeämmäksi. Ennen etäohjelmointiin ryhtymistä luodaan robotista ja sen ympäristöstä virtuaalinen tila. Näin kyetään turvallisesti kokeilemaan kuinka robotti mahtuu työskentelemään tilassa ja mitä mahdollisia ongelmia saattaisi ilmentyä. Näitä kaikkia ohjelmointitapoja voidaan käyttää samassa sovelluksessa. Ohjelman runko ja liikeradat voidaan tehdä etäohjelmoituna. Kun ohjelma on ladattu robotille, se käydään askeleittain läpi ja korjataan mahdolliset viat.

#### 4.6 Tarkkuus

Robotin nivelen asema mitataan anturien avulla. Anturit on yleensä kiinnitetty epäsuorasti servomoottoreiden akseleihin. Robotin käsivarsien ollessa pitkiä ja usein kevytrakenteisia, saattaa niihin syntyä kuormasta johtuvaa taipumaa ja lämpölaajenemisesta johtuvia siirtymiä. Roboteille luvataan toistotarkkuutta  $\pm 0,1\text{mm}$ , absoluuttisen tarkkuuden saattaessa jäädä niinkin huonoksi kuin  $\pm 50\text{mm}$  kuormitetun ja kuormittamattoman käsivarren välillä. Jos robotti ohjelmoidaan opettamalla ja kuormitettuna, jää huono absoluuttinen tarkkuus huomaamatta. /17/.

Laite	Toistotarkkuus (toleranssi)	
	(mm)	(mm)
Robotti (koosta riippuen)	$\pm 0,02$	$\pm 1$
Tarrain	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$
Tarrain (tarkkuusjohteet)	$\pm 0,05$	
Työkalun vaihtaja	$\pm 0,02$	
Joustavuuselin	$\pm 0,05$	
Indeksipöytä	$\pm 0,01$	
Palettien paikoitus- asema kuljettimella	$\pm 0,01$	
Palettien pysäytys- asema (stoppari)	$\pm 1$	

**Kuva 10.** Taulukko toistotarkkuuksista. /17/

#### 4.7 Työkalut ja tarraimet

Roboteille on mahdollista rakentaa tai ostaa valmiina tarraimia ja työkaluja. Oleellista on, että tarraimet ja työkalut ovat sopivia ja toimivia valittuun tehtävään. Tarraimen suunnittelussa tärkeä huomioida, että tarraimen ja siirrettävän kappaleen yhteenlaskettu paino ei saa ylittää robotin maksimikuormitusta. Tulee myös huomioida, että painopisteen etäisyys työkalulaipasta on rajoitettu. Robotin liikkuessa nopeasti aiheutuu kiihdytyksissä ja hidastuksissa suuria rasituksia mekaniikalle. Yleensä tarraimet ovat imukupeilla toimivia tai pihtimäisiä tarttuvia. Valmiita tarrainrunkoja on saatavilla, mutta yleensä joudutaan suunnittelemaan itse siirrettävään kappaleeseen tarttuvat osat. Työkaluja voi olla esimerkiksi, hitsauspistoolit, pora, hiomakone ja imukuppitarttuja. /18/.

#### 4.8 Turvallisuus

Teollisuusrobotit ovat automaattisia ja voimakkaita koneita ja ne asettavat työturvallisuudelle suuria vaatimuksia. Robottien ja työasemien turvallisuutta koskee EU:n konedirektiivi, joka on tehty koneturvallisuuden säännösten yhtenäistämiseksi ja konedirektiivin kanssa harmonisoitu standardi. Yleiset turvallisuusvaatimukset johtavat siihen, että robottiasemat aidataan ja eristetään valorajoilla tai

kosketusmatoilla siten, että työalueelle meneminen aiheuttaa robotin pysähtymisen. /19/.

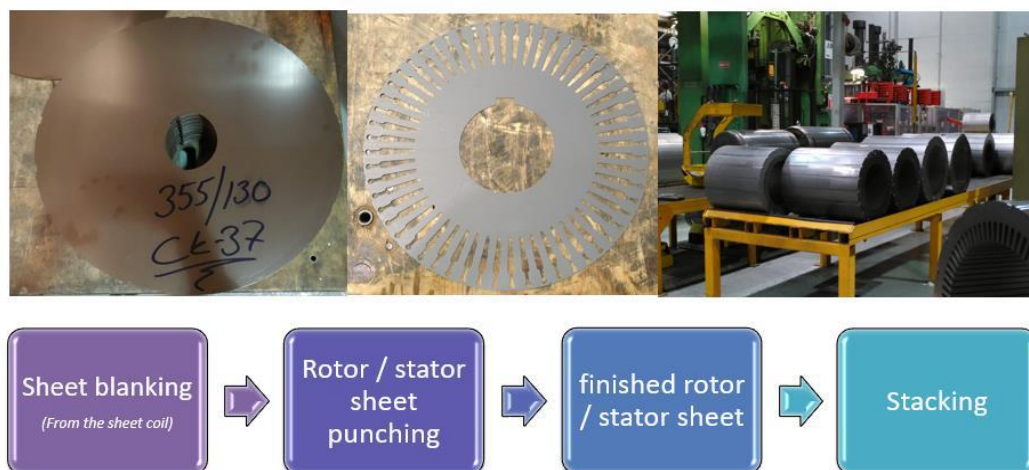
#### **4.8.1 Yleisimmät vaaratekijät roboteilla**

Tavallisimpia vaaratekijöitä ja tapaturmien aiheuttajia robottijärjestelmissä on robotin iskut, puristuminen, leikkautuminen tai takertuminen. Yleensä roboteille ilmoitetaan käsittelykyky, jonka rajoissa se pystyy toistamaan liikkeensä suurella tarkkuudella, esimerkiksi  $\pm 0.1\text{mm}$ . Käsittelykyky ei kuitenkaan kuvasta suoranaisesti robotin voimia, vaan käsittelykykyä tarkkuuden rajoissa. Esimerkiksi 10 kg:n käsittelykyvyn omaava robotti voi helposti nostaa 100kg taakan. Vaaratilanteen satuesssa sitä ei kyetä ihmisvoimin pysäyttämään. Robotin liikuttaman kappaleen irtoaminen tarttujan tai työkalun otteesta pikaliikkeen aikana saattaa aiheuttaa sen sinkoutumisen ulos varsinaiselta työskentelyalueelta, näin ollen vaara-alue saattaa olla liikenopeuden mukaan huomattavastikin työaluetta laajempi. Yhtä lailla esimerkiksi häiriön aikana tapahtuva kappaleen putoaminen tarttujasta saattaa aiheuttaa vaaratilanteen. Muita vaaroja järjestelmissä aiheuttavat oheis- ja apulaitteet sekä energialähteet. Näistä johtuvat onnettomuudet, kuten sähköiskut ja palovammat, eivät ole kaikkein tyypillisimpiä, mutta hitsaussovelluksissa ne tulee ottaa huomioon. Tavallisin vaara hitsatessa on syntyvä UV-säteily. On myös huomioitava, että robotin liikealuetta on käytännössä vaikea arvioida, sillä robotti liikkuu kolmiulotteisessa tilassa ilman näkyviä rajapintoja ja robotin nopean uudelleenohjelmoitavuus aiheuttaa sen, että muistikuva liikeradasta ei pidä paikkaansa. /19/.

Robotin toimiessa kinematiikan perusteella, ei se kiinnitä huomiota liikkeen syihin tai voimiin, vaan pyrkii kulkemaan lyhimmän reitin kautta kahden pisteen välillä. Robotin kulkiessa lyhintä reittiä saattaa se tehdä ihmisen silmään odottamattoman ja nopeankin liikkeen aiheuttaen vaaratilanteen. Ohjelmoitaessa robottia tulisi ohjelmaan määrittää alku- ja loppupiste, jotta vältettäisiin robotin arvaamattomia liikkeitä. Robotin liikeradassa saattaa olla eri nopeuksia tehtävistä riippuen. Ohjelmointivirhe, häiriö robotissa tai robotin ulkopuolelta tuleva häiriö saattaa aiheuttaa robotille arvaamattoman liikkeen. Arvaamaton liike on aina turvallisuusriski. /19/.

## 5 DYNAMO- JA STAATTORILEVYJEN VALMISTUS

ABB on jo vuosikymmeniä käyttänyt meistotekniikkaa induktiomoottorien roottori- ja staattorilevyjen valmistamiseksi. Tuotantojärjestelmä on esitetty kuviossa 11. Vaikka meistotekniikka on erittäin kustannustehokas ja nopea tapa valmistaa staattori- ja roottorilevyjä suuria määriä, on sillä myös monia haittoja. Meistien pitkät vaihtoajat, hydraulikan tuomat häviöt ja kuluvat osat aiheuttavat tuotannon linjaseisokkien määrän kasvua. Tästä syystä ABB tutkii vanhojen meistopuristimien korvaamista nykyaikaisella laserleikkausjärjestelmällä kehittyneemmän teknologian aikaansaamiseksi. Ennen kuin menetelmämuutos voidaan tehdä, on ratkaisevan tärkeää selvittää, mikäli laserleikkausjärjestelmä on riittävän nopea ja kustannustehokkuudeltaan kannattava järjestelmä.



**Kuva 11.** Kuvia tuotannon eri vaiheista.

### 5.1 Staattorilevyn valmistus

ABB Oy:n Motors and Generators yksikössä oleva komponenttitehdas valmistaa staattori- ja roottoripaketteja. Staattori- ja roottoripaketteihin tarvittavat osat valmistetaan urittamossa, jonka jälkeen siirtyvät komponenttitehtaalle. Staattoripaketteja valmistuu viikossa noin 500 pakettia. Komponenttitehtaan käytössä on kolme ladontakonetta, kolme staattoripakettisorvia ja yksi paketinhitsauskone. Staattoripakettien valmistuksessa työskentelee noin 10 henkilöä.

## 5.2 Roottorilevyn valmistus

ABB Motors & Generators Oy:n yksikköön kuuluu myös urittamo. Urittamossa valmistetaan roottorilevyjä. Staattorilevyt ovat olennaisin osa sähkömoottoreiden kiinteä osaa, ja roottori on sähkömoottorin pyörivä osa. Urittamossa valmistetaan noin 800 000 levyä viikossa, josta noin 500 levyä on moottorin aktiiviosia. Dyna-molevyjen tarve on noin 80 tonnia päivässä. Urittamossa on käytössä 5 irrotuspu-ristinta, 8 urituskonetta ja lisäksi meistihionnan työkaluja. Työntekijöitä uritta-mossa on 22, levyjen ura vaihtoehtoja on 1000. (ABB Oy 2019).

Roottoreita ja roottoripaketteja syntyy noin 500 viikossa. Valmistuksen käytössä on neljä valukonetta, kolme roottorisorvia sekä kolme tasapainotuskonetta. Työnteki-jöitä on noin 24. Komponenttitehtaassa koneistetaan myös 200-400 valurautarun-kojen koneistusta, niiden valmistusmäärät ovat noin 500 runkoa viikossa. Työko-neina käytössä on 6 BW-koneistuskeskusta ja työntekijöitä on 18. Komponenttiteh-taaseen kuuluu myös kokoluokkien 160-450 staattoreiden hartsaus ja viikossa staat-toreita valmistuu 200-300 kappaletta. Valutushartsauslaitteita on käytössä viisi kap-paletta, yksi roottorihartsauslaite ja yksi tyhjiöhartsauslaite. Työntekijöitä hartsauk-sessa on 12 (ABB Oy 2019).



## 6 ROBOTTILAJITTELUA EDELTÄVIÄ VAIHEITA

Opinnäytetyön toteutusvaihe aloitettiin tutustumalla nykytuotantoon, joka tarkoittaa dynamolevykappaleiden leikkaamista meistotekniikalla. Nykyisellä tekniikalla on korkeat ylläpito- ja huoltokustannukset, lisäksi meistien korjaus ja huolto ovat merkittävä kustannuserä. Nykyinen meistotekniikkaan pohjaava tuotanto on edelleen toimiva, mutta verrattuna laserleikkaustekniikkaan, ei meistotekniikkaa voi juurikaan muokata tai vaihtaa nopeasti asetuksia. Myös levynhyötysuhde on myös heikko ja jo näitä asioita mietittäessä on yrityksellä halu siirtyä käyttämään uudempaan tekniikkaan, jonka avulla tuottavuutta voitaisiin nostaa entuudestaan samalla säästämällä energiaa ja resursseja.

Jokainen työvaihe tämänhetkisessä meistotekniikkatuotannossa kaipaisi uuden tekniikan tuomia etuja. Nykytilanteessa leikattaessa meistotekniikalla eri malleja, täytyy leikkaus tehdä vain aihiona ulkomuodon mukaisesti ja sen jälkeen yksitellen ajaa urittamossa halutut urat ja muodot aihioon. Laserleikkaustekniikalla ajettaessa tarvitsee tuoda vain haluttu malli nestausohjelmaan, lähettää ohjelma koneelle ja suorittaa ajo. Laserleikkaustekniikkaa käytettäessä erillinen aihion leikkaus vaihe jää pois. Lisäämällä automaatiota tuotannon eri vaiheisiin on mahdollista lisätä tuottavuutta sekä kilpailukykyä, työvaiheiden vähentyessä. Yrityksen tavoite on tutkia lasertekniikan tuomia mahdollisuuksia ja pyrkiä pääsemään tilanteeseen, jossa tuotannossa käytettävää automaatiota on mahdollisimman paljon, koneiden samalla ollessa luotettavia ja kustannustehokkaita.

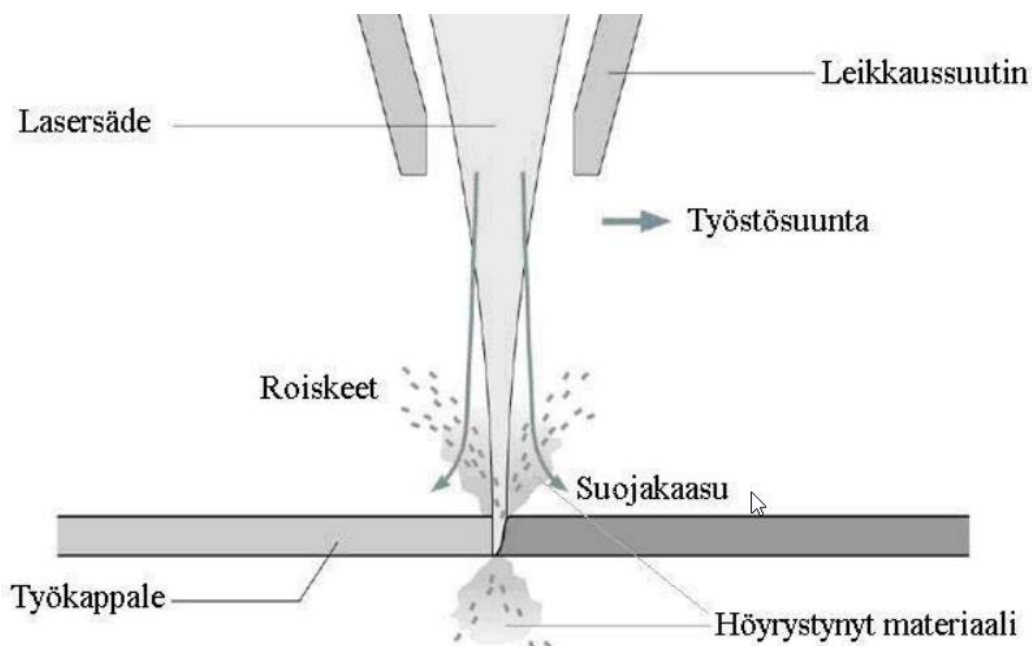
### 6.1 Laserleikkaus

Laserleikkauksessa lasersäde fokusoidaan leikattavan kappaleen pinnalle. Pienen polttopisteen ja korkean energiatiheiden yhteisvaikutuksesta työstettävään kappaleeseen muodostuu materiaalin täyttämä reikä, jota ympäröi sula materiaali. Tavallisella tekniikalla leikatessa höyrystynyt ja sulanut materiaali poistetaan nopealla kaasuvirtauksella, joka tuodaan leikkauskohtaan suuttimen avulla. Jatkuva railo saadaan aikaiseksi, kun lasersädettä tai leikattavaa kappaletta liikutetaan. /24/.

## 6.2 Höyrystävä laserleikkaus

Tässä kyseisessä toimenpiteessä leikattava materiaali kuumennetaan lasersäteellä sulamispisteeseen, jolloin saadaan aikaan avaimenreikä. Avaimenreiässä absorptio voimistuu säteen heijastuessa seinämistä ja reikä syvenee nopeasti. Prosessissa käytettävän suuren tehotiheyden  $10^6 - 10^{10} \text{ W/cm}^2$  vaikutuksesta syntyvään reikään muodostuu höyryä, joka poistuu reiästä paineella kuljettaen mukanaan sulan materiaalin, liiallisen sulan välttämiseksi voidaan lasertehoa pulssittaa.

Tavallisesti höyrystävässä leikkauksessa käytetään kaasuvirtausta puhaltamaan syntynyt höyry pois. Ennen kuin suuritehoisia single-mode kuitulasereita tuli markkinoille höyrystävää laserleikkausta käytettiin pääasiassa puun, hiilen, paperin, kartongin, keraamien leikkaamiseen. /21/.



**Kuva 12.** Höyrystävän laserleikkauksen periaate /21/

## 6.3 Nestaus

Nestauksella tarkoitetaan leikkauskuvioiden laatimisprosessia raaka-ainejätteen minimoimiseksi. Erinomaisia esimerkkejä ovat ohutlevytuotteet. Laserleikkauksen aikana tuotetun romuraaka-aineen minimoimiseksi yritykset ovat kehittäneet omia

nestausohjelmia. Ohjelmistoon kerätään halutut kappaleet, jotka ovat saman vahvuisia ja laadultaan samoja. Algoritmeja käyttämällä ohjelma määrittelee, kuinka leikattavat osat asennetaan levyille siten, että saadaan tarvittava määrä osia samanaikaisesti minimoiden raaka-aineen käyttö. Nestausohjelmien optimointi on suora-kaiteisten kappaleiden kohdalla melko toimivaa, mutta haasteita tulee, kun nestaus sisältää erimuotoisia kappaleita. Tällöin nestaja joutuu yleensä käsin asettelemaan kappaleita levyille tai muuttamaan parametrejä siten, että esimerkiksi kappaleiden välit ovat oletusarvoja pienemmät. /23/.

Useimmat nestausohjelmat kykenevät lukemaan DXF-tiedostoja automaattisesti. Joihinkin nestausohjelmiin on sisäänrakennettu muunnin, joka kykenee käsittelemään tiedostoja ja mahdollisesti huomaamaan tiedostoissa olevat virheen, kuten esimerkiksi vajaan viivan.

Nestauksessa on huomioitava käytettävissä olevan koneen rajoitukset ja ominaisuudet. Jos käytössä oleva laserleikkauskone on sellainen, jossa levy liikkuu pöydällä ja leikkauspää on kiinteä, kone ei silloin välttämättä pääse kuin puoleen materiaalista, kun sen täytyy tehdä otteen vaihto. Rei'itettäessä tulee ottaa huomioon rei'itysvälineen leveys ja suunta miten rei'itetään. Leikkaus voidaan sallia vain tietyillä levyn alueilla, esimerkiksi levystä kiinnipitävien kynsien ympärillä on turva-alue, mistä ei voida leikata sekä on otettava huomioon materiaalista johtuvat ominaisuudet. Tässä työssä nestauksessa käytettiin Prima Powerin NcExpress ja Finn Powerin JetCam ohjelmistoja. /23/.

## 6.4 Visual Component

Visual Component ohjelmisto on suunniteltu käytettäväksi tuotannon suunnitteluun. Ohjelmalla kyetään ideoimaan, suunnittelemaan ja validoimaan layoutteja erittäin helposti ja nopeasti. Ohjelman peruskäyttöön riittää yleensä muutaman opetusvideon katsominen. Opetusvideot löytyvät Visual Componentin kotisivuilta. Tarkempaa suunnittelua tehdessä täytyy suunnittelijan ymmärtää ja kyetä ohjelmoidaan python-ohjelmointikieltä. Visual Componentista löytyy usean eri valmistajan robotteja ja muita laitteita, mikä helpottaa layout suunnitelmien tekoa. Suunnittelija kykenee pikaisesti kokeilemaan mikä robotti, kuljetin tai muu laite sopisi

suunniteltavaan kohteeseen. Ohjelmalla kyetään helposti havainnoimaan esimerkiksi robottien liikeradat ja liikeratojen riittävyys. Valmiista suunnitelmasta on myös mahdollista tuottaa 3D-pdf havainnollistamaan suunnitelmaa. Lisäksi ohjelmalla kyetään tuottamaan suunnitelmista tarkkoja mittapiirustuksia 2D:nä. /25/.

## 7 OPINNÄYTETYÖN KÄYTÄNNÖN VAIHEET

Nykytuotantoon tutustumisen jälkeen oli tiedossa, että Fraunhoferilla on etälaser, joka kykenee leikkaamaan ohutta dynamolevyä n. 17m/s. Fraunhoferilla on video, jolla leikataan 0.20mm dynamolevyyn sata reikää ja aikaa tähän kuluu 1.12 sekuntia. /20/

Nykytuotannossa on käytössä jo vuosikymmeniä sitten käyttöönotetut, meistotekniikalla toimivat koneet. Yrityksellä on tavoitteena selvittää mitä vaatisi, että voitaisiin siirtyä käyttämään lasertekniikkaa. Tutustuin Antti Pihlavan diplomityöhön laserleikkauksesta ja sen toimintaperiaatteesta. /21/.

Opinnäytetyössäni keskitytään vain vähän laserleikkaukseen ja siihen minkälaisia vaihteita tai vaatimuksia lasertekniikka pitää sisällään. Opinnäytetyössä keskitytään työvaiheeseen, jossa valmiiksi laserilla leikattu dynamolevykappale saapuu kuljettimelle ja robotti lajittelee dynamolevykappaleita. Opinnäytetyössä pohdittiin myös kappaleiden merkitsemistä, tunnistettavuutta ja konenäön hyödyntämisen mahdollisuuksia. Dynamolevystä leikattujen kappaleiden käsiteltävyyden yhteydessä pohdittiin, mitä ominaisuuksia robotin tarrain vaatii toimiakseen optimaalisesti. Valmiiksi leikattujen dynamolevyjen robotisoitua lajittelua pohdittaessa pyrittiin saavuttamaan toimiva layout, joka mahdollistaisi korkean automaation saavuttamisen.



**Kuva 13.** Kuvakaappaus Fraunhoferin videosta

Seuraavassa opinnäytetyön vaiheessa päätettiin työn kohteeksi valitut dynamolevykappaleet. Dynamolevymalleja on ABB:llä kaikkiaan yli tuhat erilaista. Valitsin yrityksen dynamolevymalleista runkokokoluokan 315 staattori- ja roottorilevyt. Lisäksi valitsin yhden pienemmän roottoridynamolevyn runkokokoluokasta 71, joka mahdollisesti sopisi nestauksen yhteydessä käytettävänä täytepalana. Näin saataisiin hyödynnettyä mahdollisimman suuri osa dynamolevystä.

Jotta päästäisiin mittaamaan leikkauspituuksia ja sitä kautta hahmottamaan leikkausaikaa täytyi, valituista dynamolevykappaleista saada dxf-kuvat. Dxf on CAD-tiedostomuoto, jonka kehitti Autodesk. DXF mahdollistaa tietojen siirtoa eri CAD-ohjelmien välillä. Myös kappaleen sijoittelua levyille tutkittiin, jotta saataisiin ymmärrys mahdollisista kappalemääristä. /22/.

Kappaleiksi valikoitui staattorilevy 3GZF453031-5 sekä roottorilevy 3GZF453031-7. Leikkauspituus kappaleille saatiin Autocad ohjelmiston avulla.

Staattorilevylle se oli 9,152m ja roottorilevylle 6,717m. Painot kappaleille saatiin NcExpress nestausohjelmaa käyttäen. Pidempi staattorilevy painoi 0,394 kg ja roottorilevy 0,236 kg. Tutkittuani leikkausta ja nestautusta riittävästi, otin yhteyttä paikalliseen ohutlevyjä leikkaavaan yritykseen ja tiedustelin mahdollisuutta tulla kokeilemaan yrityksen käyttämää nestausohjelmaa. Nestausohjelman avulla saisin kokeiltua kappaleiden mahdollisimman tehokasta sijoittelua dynamolevylle. Tässä tapauksessa käytin ainoastaan levyarkkia, mutta kappaleita on mahdollista myös leikata suoraan kelalta tulevasta materiaalista. Nestautusta kokeillessa selvisi, että kappaleita on mahdollista ajaa suurella hyötysuhteella, mikä jo itsessään aiheuttaa sen, että dynamolevymateriaalia voidaan käyttää hyvällä prosentilla ja jätteen osuus jää pieneksi. Nestauskokeilun yhteydessä kävi ilmi, että roottorilevystä on mahdollista pienentää aihiota siten, että se mahtuisi staattorilevyn sisälle. Näin toimien vältetään ylimääräinen työstövara, joka joudutaan sorvaamalla poistamaan, tällä tavoin saavutetaan nopeampaa ja kustannustehokkaampaa valmistamista.

NcExpress ohjelman avulla saatiin leikkausaika staattorilevylle 1 min 21 sekuntia ja roottorilevylle 1 minuutti 12 sekuntia. Höyrystävän laserin nopeutta ei aivan tarkasti tiedetä, koska käytössäni ei ole Fraunhoferilta laseria koskevia tarkempia tietoja, kuten levynleikkauksen nopeutta. Tästä syystä käytän opinnäytetyössäni lähinnä leikkauksiaikaa 1.5minuuttia yhtä staattori- ja roottorilevyä kohti. Vaikka leikkauksen nopeus olisi nopeampi kuin tuo käytettävä aika, täytyy aikaan huomioida myös leikkauksen aloitus ja lopetus. On myös huomioitava aika, joka kuluu, kun kappale siirretään kuljettimelle. Nämä työvaiheet huomioituna 1.5 minuuttia on riittävä aika-arvio.

Edellä tutkittujen ja käytännössä todettujen seikkojen jälkeen ryhdyin pohtimaan varsinaisen opinnäytetyön tehtävää, joka on dynamolevyjen robotisoidun siirron mahdollisuuksien, hyötyjen ja haittojen tutkiminen. Laserleikkauksen nopeus on suuri ja leikattava dynamolevykappale on hyvin ohutta, vain 0.5mm paksuudeltaan ja halkaisijaltaan 550mm. Näiden ehtojen perusteella pohdin erilaisten robottien mahdollisuuksia suoriutua leikattujen dynamolevyjen poimintatehtävästä. Yrityksellä on tavoitteena saada kuljettimelta tulevat kappaleet suoraan ladotuksi tuurnalle. Jätin ladontakohdan tutkimisen opinnäytetyöni ulkopuolelle, eikä sitä tässä työssä

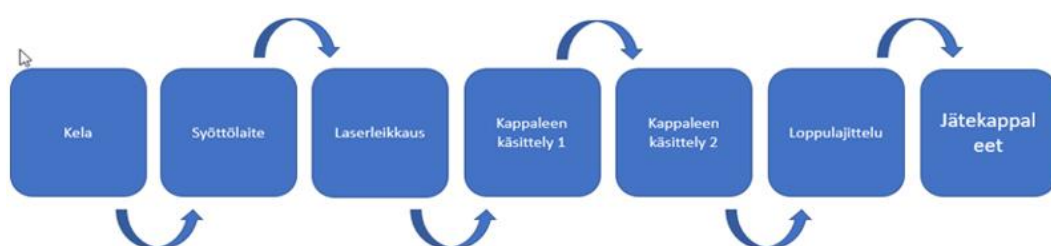
ratkaistu. On selvää, että ladontakohdan pohtiminen on tärkeä vaihe koko tuotannon näkökulmasta. Ladontavaiheen pohtiminen tässä työssä opinnäytetyössä aiheuttaisi sen, että minun olisi tutkittava tarkemmin myös nestausjärjestystä, kappaleen merkintää, konenäköä, tarttujaa ja tuurnalle sijoittamista oikeassa kulmassa. Vaikka rajasinkin nämä vaiheet opinnäytetyön ulkopuolelle, kulki ajatus tuotantoprosessin kokonaisuudesta mukana.

Opinnäytetyön sisällön jäsentelyn jälkeen jatkoin robottien tutkimista. Ensimmäiseksi vaihtoehdoksi otin ABB:n valmistaman robotin IRB 1660ID, jolla on 4kg käsittelykyky, eli robotti voi nostaa jopa 4kg painoisia dynamolevykappaleita ja 1.55m ulottuvuus, joka mahdollistaa dynamolevykappaleen siirron kuljettimelta pinnontapaikalle. Robotin edellä mainitut ominaisuudet olisivat muuten riittäviä tässä tehtävässä, mutta laserin mukanaan tuoma leikkausnopeus aiheutti sen, että robotti ei kyennyt toimimaan riittävän nopeasti. Kun robotin hitaus kävi ilmi mietin, että pystyisikö kaksi robottia suoriutumaan tehtävästä. Tähän avuksi otin Visual Components ohjelmiston. Tällä ohjelmistolla voidaan hahmotella dynamolevykappaleiden lajittelun layout-mallia. Visual Component ohjelma itsessään on melko helppo ja mukava käyttää. Ohjelman käytön varsinainen opettelu alkoi siinä vaiheessa, kun robottiin tuli saada useamman eri työvaiheen liikkeitä. Liikettä mukaan saadakseni alkoi ohjelman varsinainen opettelu. Aluksi tutustuin huolellisesti Visual Component sivuston tarjoamiin opetusvideoihin /25/. Tämän jälkeen YouTubesta löytyviin opetusvideoihin. Videoiden avulla opin ohjelman käyttöä ja sain robotin liikumaan. /26/.

Ensimmäisen layout-kokeilun perusteella totesin, että kaksi IRB 1660ID robottia ei sovellu tehtävään, koska leikattuja dynamolevykappaleita tulee liian nopeasti linjaston alkupäähän. Jatkoin robottien tutkimista ja mahdollisten sopivien mallien etsintää. Mielessäni olin kuvitellut, että kappaleiden saapuessa hihnalle tarvittaisiin mahdollisimman nopea ja toistotarkkuudeltaan riittävän hyvä robotti. Robotti, joka kykenee paikoittamaan, poimimaan ja siirtämään dynamolevykappaleen riittävän nopeasti.



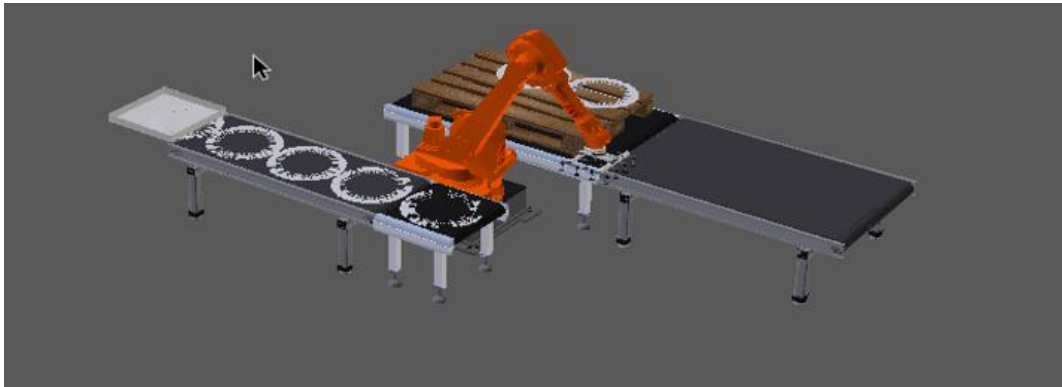
Dynamolevykappaleen ollessa paksuudeltaan 0.5 mm ja leveimmillään 550 mm on se vetelä ja hankala käsiteltävä robotille. Tästä syystä tulevaisuuden työksi jää suunnitella tarttuvia, joka kykenee poimimaan kappaleen siten, ettei se väännä tai roiku. Lisäksi tarttujalta vaaditaan kykyä muuttaa kokoaan dynamolevykappaletta vastaavaksi, mikäli tulevaisuudessa ajetaan hyvin erikokoisia dynamolevykappaleita. Myös tarttujan muita ominaisuuksia, kuten poimintaominaisuutta, on syytä tarkastella huolellisesti ja myös tutkia magneetti- ja imukupin toiminallisuuksia dynamolevyn poiminnassa.



**Kuva 14.** Prosessikuvaus yksinkertaistettuna

## 7.1 Toteutus

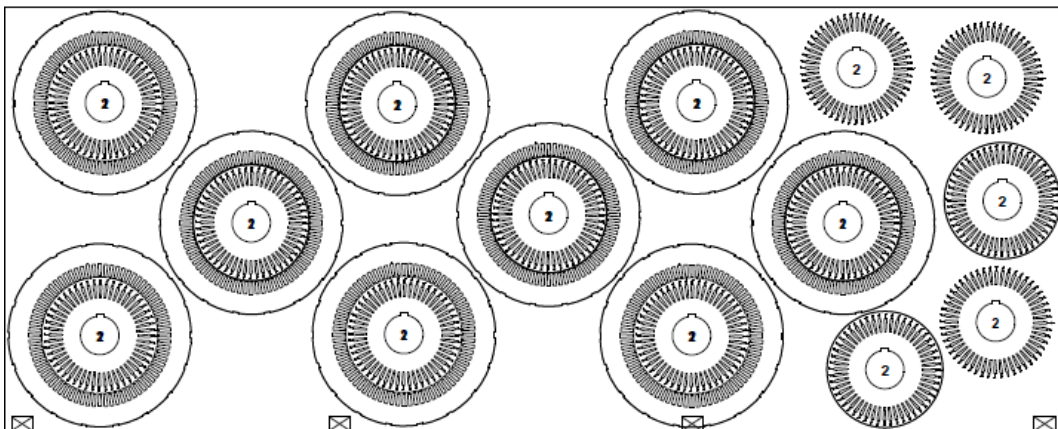
Työn toteutus alkoi muuntamalla dynamolevyn mallikappaleet dxf-tiedostosta step-tiedostoksi. Näin Visual Component ohjelma ymmärtää kappaleen muodon ja varsinainen layoutin piirtäminen saattoi alkaa. Ensimmäisessä layoutissa (Kuvio 15) oli mukana vain yksi robotti ja yksi leikattava tuote. Tämä aiheutti sen, että kappaleet kasaantuivat kuljetushihnalle. Totesin että ajettaessa vain yhtä tuotetta ei yksi robotti ehdi suoriutumaan tehtävästi riittävän nopeasti.



**Kuva 15.** Ensimmäinen layout

## 7.2 Ensimmäinen nestaus

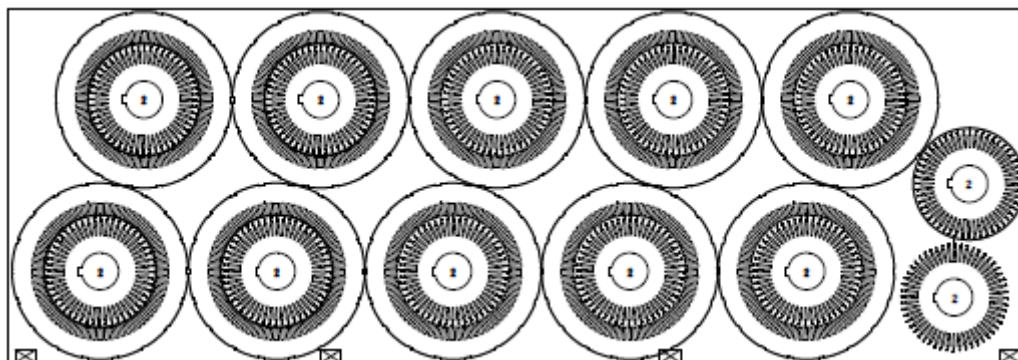
Seuraavassa vaiheessa työtä jouduin pohtimaan työn aikaisempaa nestausvaihetta ja sitä, miten ja missä järjestyksessä kappaleet tulevat kuljetushihnalle. Tähän avuksi käytin nestausohjelmaa ja rajasin työn vain yhteen staattori- ja roottoripariin, sillä muuten vaihtoehtoja on liian paljon. Työn kohteeksi valitsin kokoluokalta 315 moottorin ja staattorilevyn 3GZF453031-5 ja roottorilevyn 3GZF453131-7. Ensimmäisessä koenestauksessa optimoin dynamolevykappaleet kokoon 3000x1200 ja sain levyille 86.1% laskennallisen hyötysuhteen. (**Kuva 16**).



**Kuva 16.** Ensimmäinen nesti

### 7.3 Toinen nestaus

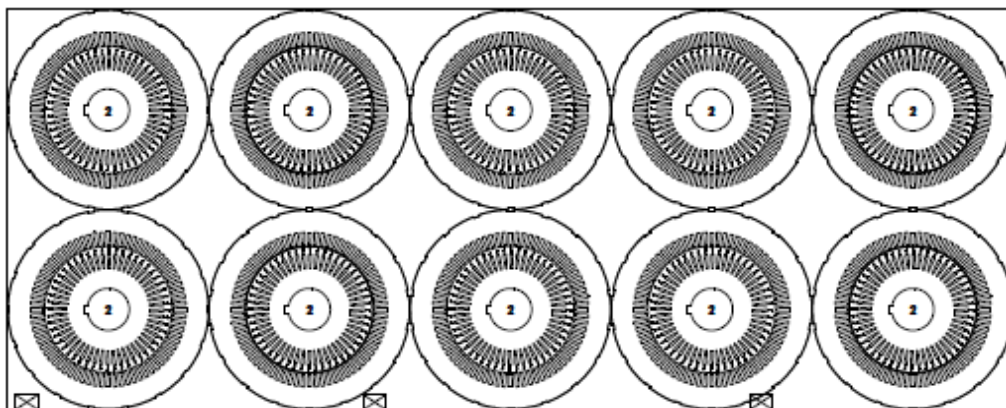
Seuraavaksi muokkasin levykokoa ja asettelin kappaleet nestaukseen entistä tiiviimmin (**Kuva 17**). Levyn kooksi määrittelin isoimman kappaleen mukaisesti 3000x1045. Tällä saavutin levyn hyötysuhteeksi täydet 100%. Tosin näin tiiviisti tehty nesti saattaa aiheuttaa ongelmia ja virhetilanteita leikkauksessa.



**Kuva 17.** Toinen nesti

### 7.4 Kolmas nestaus

Syy siihen, että aloin tutkimaan nestauksia oli tarve ymmärtää, että missä järjestyksessä leikatut dynamolevykappaleet tulevat poimintavaiheeseen. Kun tiedän järjestyksen kykenen suunnittelemaan optimoidun robotisoidun poiminnan ja tuotteiden siirron. Kokeiltuani useampia eri levykokoja ja eri mahdollisuuksia saavutin parhaimmillaan 109.3% hyötysuhteen ja tällöin levyn keskelle jäi vielä tilaa mahdollisesti pienemmän kokoluokan roottorilevyille. Tämä suurentaisi hyötysuhdetta entistään. (**Kuva 18**).



**Kuva 18.** Kolmas nesti

Kolmannen nestauksen avulla kykenin etenemään seuraavaan layout suunnitelmaan. Aiempien nestauksien perusteella tiesin, missä järjestyksessä dynamolevykappaleet tulevat seuraavaan vaiheeseen. Samalla huomasin, että dynamolevykappaleita saattaisi olla mahdollista ajaa rangattomana siten, että tyhjäksi jäävät kohdat vain leikattaisiin irti ja irti leikatut osat tulisi myös käsiteltäväksi seuraavaan vaiheeseen. Levyn ajaminen rangattomaksi helpottaisi huomattavasti koko leikkaustoimintaa. Se mahdollistaisi selkeämmän ja toimivan layoutin, kun rankoja ei tarvitse siirtää. Nestauksia tutkittaessa myös itse dynamolevykappaleita täytyi tutkia. Kappaleista täytyi mitata leikkauspituus, jota tutkittiin Autocad ohjelmalla. Leikkauspituudeksi osalle 3GZF453031-5 laskettiin yhteensä 9.152 metriä ja osalle 3GZF453131-7 vastaavasti 6.717 metriä, yhteensä siis 15.869 metriä. Leikkausnopeuden ollessa 15m/min saatiin molempien dynamolevyjen laskennalliseksi leikkausajaksi noin 1.057 min. Tämä on teoreettinen nopeus tämän hetkisen tiedon perusteella. Vertailuksi voidaan todeta, että NcExpress-ohjelmalla tehtyjen nestauksen perusteella saatiin kappaleelle 3GZF453031-5 ajaksi 1.21min ja kappaleelle 3GZF453131-7 ajaksi 1.12min.

## 7.5 Robotisoidun poiminnan layout-vaihtoehtoja

Ensimmäisen layout versiossa oli yksi robotti ja yksi dynamolevykappale. Ensimmäisessä layoutissa olevan yksittäisen robotin nopeus ei riittänyt poimimaan hihnalle jonoutuvia kappaleita. Tämän jälkeen aloitin layout version numero kaksi.

Tässä versiossa huomioin kappaleiden saapumisnopeuden hihnalle ja tutkin robotilta vaadittavia ominaisuuksia. Nopein robotti olisi FlexPicker (**Kuva 9**), mutta sen liikerata ei ollut riittävä tähän kohteeseen. Seuraavaksi etsin teollisuusrobotia, jossa tulisi olla vähintään kolme vapaasti ohjelmoitavaa liikeakselia. Tutkittaessa robotteja ja leikattavien dynamolevyosien nopeutta jäljelle jäi vain yksi vaihtoehto käsittelemään nopeasti saapuvat osat. Lineaarirobotilla, tarkemmin portaalirobotilla, voidaan saavuttaa riittävä nopeus ja toistotarkkuus dynamolevykappaleiden poimimiseen. Portaalirobotin rakenteen ansiosta robotissa on kiinnityspaikat valmiina esimerkiksi konenäön käyttöönottoa varten. Konenäkökamerat voitaisiin asentaa portaalirobotin kehikkoon.

Portaalirobotin käytön myötä kyetään poimimaan leikatut dynamolevykappaleet nopeasti kuljettimelta ja siirtämään ne kuljettimen sivuille, yrityksen tarpeesta riippuen, joko lavalle tai mahdollisesti toiselle kuljettimelle. Vaihtoehtoisesti myös mobiilirobotteja voitaisiin hyödyntää tässä työvaiheessa. Mobiilirobotin päälle voidaan asentaa tuurna, johon portaalirobotti tuo valikoidun osan. Kun määrä on haluttunlainen, voi mobiilirobotti kuljettaa dynamolevykappaleet seuraavaan työvaiheeseen. Tunnistettavuuden osalta leikatut dynamolevykappaleet on mahdollista merkata nestausvaiheessa, esimerkiksi qr-koodilla tai yrityksen valitsemalla muulla tavalla.

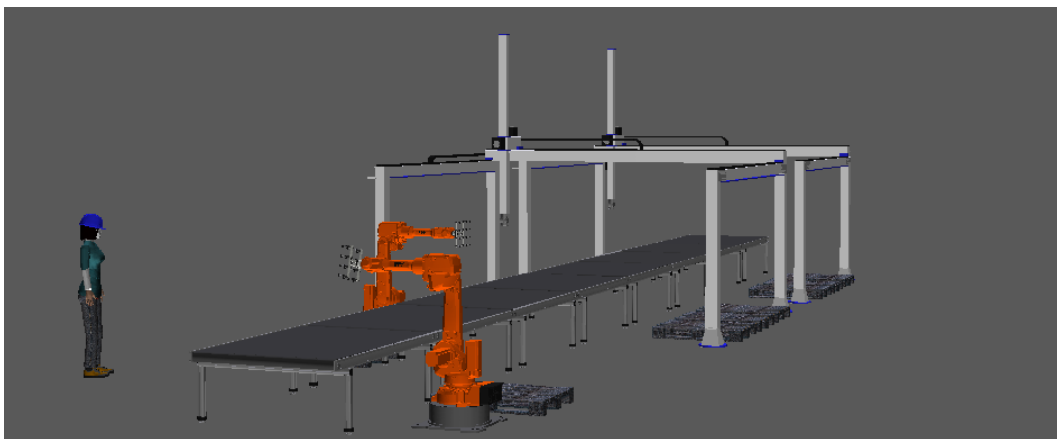
## 7.6 Robotisoituun poimintaan valittu portaalirobotti

Dynamolevyjen poimintaan valittuja lineaarirobotteja on erilaisia. Yksi vaihtoehto, jota kokeilin, oli ABB:n IRB6620\_LX Sideslung robotti. Tässä robotissa liikerata on kuitenkin liian rajallinen ja raskasrakenteinen. Kuvassa 19 näkyvän layoutin myötä huomasin, että liikerataa tarvitaan enemmän. Laserleikkauksen nopeuden ollessa huomattava, ei kyseisessä layoutissa oleva robotti IRB6620\_LX Sideslung kykene pysymään vauhdissa mukana. (**Kuva 19**)



**Kuva 19.** IRB6620\_LX Sideslung layout

Koska käsiteltävät dynamolevykappaleet ovat kevyitä, voidaan IRB6620\_LX Sideslungia huomattavasti kevyempirakenteisella robotilla päästä parempaan lopputulokseen. Kun robotti on kevyempi, voidaan robotin nopeutta nostaa laserleikkauksen nopeuteen riittävälle tasolle. Kuvassa kaksikymmentä näkyvässä layoutissa on nähtävissä kevyempi rakenteinen versio roboteista. Linjan loppupuolelle on myös lisätty kaksi IRB 2600-20/1.65 robottia käsittelemään mahdollisesti työstettäviä pienempiä kappaleita. (**Kuva 20**).



**Kuva 20.** Portaalirobotti layout

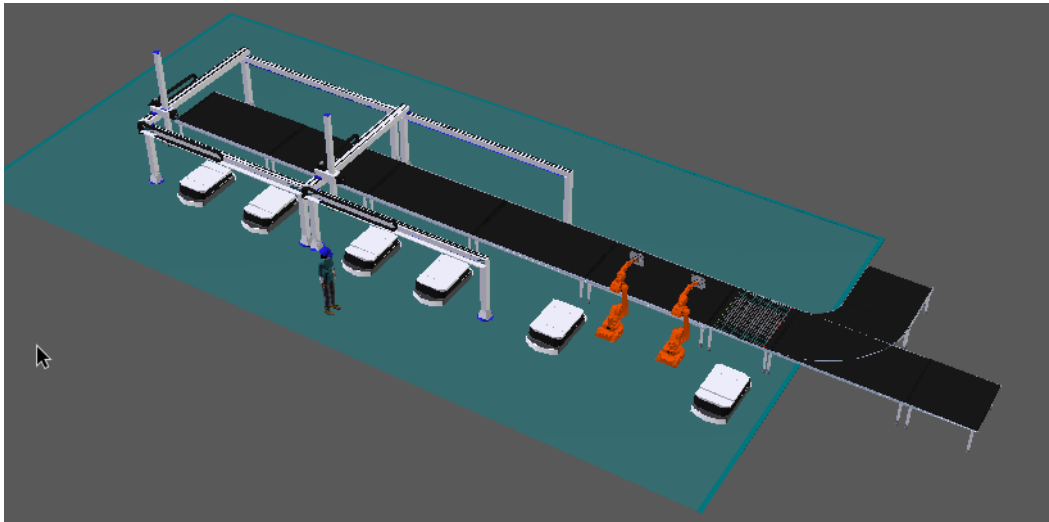
Viimeiseen layout pohjaan kuljetinta levennettiin vastaamaan laserleikattavan dynamolevyaihion leveyttä. Koska kappaleita leikataan koko levyn leveydeltä, on hihnan oltava yhtä leveä tai leveämpi, että leikattavat dynamolevykappaleet mahtuvat hihnalle. Leikattavien kappaleiden saapuessa koko hihnan leveydeltä, vaaditaan robotilta suurta toiminta-aluetta ja nopeutta. Portaalirobotin nopeutta voidaan halutessa säätää tarkemmin vastaamaan leikattujen dynamolevykappaleiden nopeutta. Tähän layout suunnitelmaan käytettiin kahta servomoottoreilla ja hihnalla toimivaa lineaarirobottia. Lineaarirobotit kykenevät poimimaan suurimmat ja ensimmäiseksi saapuvat kappaleet. Kuljettimen pituutta jatkettiin, että kyettäisiin tasaamaan saapuvien pienempien kappaleiden nopeutta. Jatketun kuljettimen reunoille lisäksi kaksi IRB 2600-20/1.65 robottia poimimaan pienempiä kappaleita. Tarvittaessa IRB roboteista toinen voidaan ohjelmoida poimimaan jätekappaleita.

Kuljettimen loppupäähän asensin risteyskohdan. Risteyksen tarkoituksena on, että jätekappaleet voidaan ohjata suoraan jäteastiaan. Tähän layout-ratkaisuun on tutkittu mahdollisuutta ajaa useampaa eri mallia. Kun leikattavien dynamolevykappaleiden määrä nousee, täytyy layout olla muokattavissa vastaamaan kappalemääriä.

Layoutissa olevien mobiilirobottien tarkoitus on toimia siten, että leikattavat kappaleet siirretään mobiilirobottien päälle ja mobiilirobotit kuljettavat kappaleet seuraavaan työvaiheeseen.

Lineaarirobottien runko on täysin muokattavissa pituuden, leveyden ja korkeuden suhteen. Lineaarirobottien nopeutta kyetään säätämään alueella 1-4 m/s, joka on riittävä tässä tapauksessa. Kuljettimien nopeutta kyetään säätämään sopivaksi. Layout on ajateltu muokattavaksi siten, että tulevaisuudessa on mahdollista lisätä dynamolevykappaleiden tunnistamista varten konenäköä.

Konenäkö kykenisi ennen dynamolevyjen poimintavaihetta tunnistamaan viallisen dynamolevykappaleen ja kertomaan robotille, että kappaletta ei poimita vaan se jatkaa kulkemista jäteastiaan.



**Kuva 21.** Viimeisin layout



## 8 POHDINTA

Ennen varsinaisen robottipoiminnan aloitusta on erittäin tärkeätä tutkia dynamolevymateriaalin työstämistä ja sitä tuleeko materiaali kelalta vai ajetaanko se levyltä. Levyltä ajettaessa hankaluutena on levyjen käsittely. Dynamolevymateriaali on ohutta ja ohuus aiheuttaa suuria haasteita sekä varastoinnin että siirtämisen suhteen. Laserilla leikattaessa levyjen edestakainen siirto synnyttää tilanteen, jossa nopeasti leikkaava laser joutuu odottamaan levyn vaihtoa tai siirtoa. Myös levyltä ajettaessa täytyy kyetä varmistamaan levyn suoruus ja paikallaan pysyvyys.

Käytännön kokemuksen perusteella tiedän, että ajettaessa kelalta tulevaa dynamolevymateriaalia on se pidettävä suorana ja jännitettynä, ettei leikattaessa synny mitavirheitä. Jos kelalta tulevaa materiaalia pyrittäisiin ajamaan rangattomana, täytyisi ratkaista ensiksi se, miten kelalta rullataan uusi leikattava kohta pidettäväksi jännittyneenä.

Sähkömoottorin staattorilevyn ulkomuodossa olevat lovet ja materiaalin ohuus vaikuttaa dynamolevymateriaalin kuljettamiseen. Jos levyä kuljetetaan kuljettimen yläpuolella, on kappaleiden tippuminen ongelmallista. Ongelma aiheutuu staattorilevyn ulkomuodossa olevista lovista. Lovien leikkaaminen jännitettyyn dynamolevvyyn laserleikkauskoneella aiheuttaa suurella todennäköisyydellä sen, että kappale ei pääse putoamaan kohtisuoraan alas vaan heilahtaa ja jää roikkumaan jostain leikatun loven kohdasta rankaan ja vahingoittuu. Tuotantoprosessia voisi opinnäytetyöni tulosten perusteella parantaa siten, että ennen kuin staattorilevykappaletta aloitetaan leikkaamaan, leikattaisiin lovet pois. Näin toimien olisi kappaleen putoamiselle enemmän tilaa. Vasta lovien leikkaamisen jälkeen leikattaisiin dynamolevykappaleen lopullinen ulkomuoto. Täten kappaleen putoaminen hallitusti alas kohtisuoraan voisi olla mahdollista.

Jos itse leikkauspöytä toimisi myös kuljettimena, täytyisi tietää kuinka paljon sulaa materiaalia tulee leikattavan kappaleen kohdasta kuljettimelle. Materiaali, joka leikkauksen yhteydessä syntyy, on todennäköisesti hienojakoista pölyä ja ajan mittaan se tukkii kuljettimen laakerit ja rullat aiheuttaen jumiutumista. Kumimaton kestävyys tulee selvittää ja mikäli kuljetin on metalliketjurakenteinen, on tiedettävä,

kuinka paljon se kestää metallipölyä tai pienehköjä partikkeleita ennen tukkeutumista ja jumittumista. Kuljettimen jumittaessa samanaikainen dynamolevyjen laserleikkaaminen ei ole mahdollista ja tuotanto pysähtyy.

Valitsemani layoutin toimivuuden kannalta ratkaisevin vaihe on se, miten dynamolevymateriaalia yhtä aikaa voidaan leikata ja kuljettaa. Jos dynamolevymateriaalia halutaan ajaa rangattomana, on mahdotonta yhtä aikaa leikata ja kuljettaa materiaalia eteenpäin, sillä laserleikkauskoneella ei ole mitään mistä pitää rangasta kiinni. Kun laser on leikannut dynamolevykappaleet ja ne ovat pudonneet kuljettimelle, jää ranka koneelle. Jäljelle jäänyt ranka täytyy leikata pieniksi paloiksi. Rangattomaksi leikattaessa on tutkittava sitä, miten dynamolevymateriaali on kiinnittynyt koneessa.

Meistotekniikalla ajettaessa levystä lyödään kaksi dynamolevykappaletta irti ja ne siirtyvät kuljettimelle. Tämän jälkeen ranka siirtyy eteenpäin, se lukitaan ja katkaistaan yhdellä iskulla. Tätä menetelmää voisi soveltaa laserilla leikattaessa, mutta mielestäni silloin menetetään laserin nopeuden tuoma etumatka. Laserilla kappaleet leikkautuvat nopeasti. Leikkaamisen jälkeen laserleikkauskone aloittaa rangankäsittelyn ja varsinainen kappaleiden työstö keskeytyy. Kun aloitetaan rangattomaksi leikkaaminen, on mahdollista vapauttaa leikattavan rangankäsittelemiseksi. Tällöin leikattava materiaali saattaa kuitenkin liikkua ja aiheuttaa ongelmia, sillä dynamolevymateriaali on ohutta ja vaativaa käsitellä.

Robotisoitua layoutia suunniteltaessa avainasemassa on se, miten kyetään tuottamaan nopeasti leikkaavalla koneella kappaleita hihnalle siten, että jätemateriaalin käsittely on otettu huomioon. Leikattaessa syntyvä jätemateriaali ja sen käsittely ei saa hidastaa itse leikkaamista. Opinnäytetyöni alussa määriteltiin opinnäytetyössä käsiteltäväksi aihepiiriksi vaihe, jossa leikatut dynamolevykappaleet tulevat kuljettimelle ja siirtyvät robotin käsiteltäväksi. Minulla on pitkä kokemus laserleikkauksesta ja huomasin useasti jääväni kiinni ajatukseen, että en voi suunnitella robotisoitua siirtoa ajatellen, että kappaleet vain ilmestyvät kuljettimelle ymmärtämättä tapahtumia, jotka edeltävät kuljettimelle saapumista. Kuljetinta edeltävät tapahtumat täytyy olla tarkasti tiedossa ennen kuin robottilajittelua voidaan suunnitella.

Pidän tutkimuksen kannalta äärimmäisen tärkeänä sitä, että leikattavan kappaleen siirto koneelta kuljettimelle ja rangon käsittely on määritelty huolella, ennen kuin voidaan tehdä lopulliset suunnitelmat robotisoituun siirtoon.

Robottilajitteluun saapuvien leikattujen dynamolevykappaleiden on oltava ehjiä ja suoria. Robotin on vaikea käsitellä ja poimia taipunutta, vääntynyttä tai kolhiintunutta kappaletta. Riippuen robotin tarraimen ominaisuuksista, on robotin vaikea asettaa tarraimen imukuppeja kiinni vääntyneeseen dynamolevykappaleeseen siten, että imuteho ei häviä. Vastaavasti jos robotin tarraimen tarttuja toimii magneeteilla, on magneettien teho optimoitava siten, että aktivoituessaan se ei aiheuta kappaleelle painaumia tai kolhuja. Kolhut tai painaumat aiheuttavat kappaleiden ladontavaiheessa sen, että pinon korkeus ei ole laskelmien mukainen.

Robotin tarrainta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon myös se, mistä kohdasta tarrain on kiinni robotissa. Kun robotti siirtää kappaleen tuurnalle, tulee sen kyetä saattamaan kappale tuurnan pohjalle. Robotin siirtäessä dynamolevykappaleita lavalle, voi tarrain olla esimerkiksi päältä tarttuva.

Opinnäytetyössä lähtökohtana on dynamolevykappaleiden leikkausnopeus ja leikkausnopeuden perusteella tehty layout-suunnitelma. Leikkausnopeus on robottilajittelua suunniteltaessa tärkeä huomioitava seikka. Layoutia on kyettävä säätämään ja optimoimaan nopeudeltaan sopivaksi ja ennen leikkausta ja leikkauksen jälkeen tapahtuvat asiat on huomioitava.

Yhteenvetona parhaimmaksi todetusta portaalirobotti-layoutista voidaan todeta, että se on toimiva, yksinkertainen ja muokattavissa silloin, kun käytetään lavoja, joihin pinotaan dynamolevykappaleita. Dynamolevykappaleiden ohuus tekee kappaleiden käsittelystä haastavaa ja tarkkuutta vaativaa. Dynamolevykappaleiden ohuus asettaa vaatimuksia myös robotin tarttujalle. Tarttujan hyvä suunnittelu edesauttaa leikattujen kappaleiden käsiteltävyyttä ja lisää robotin toimintavarmuutta. Kun layouttiin lisätään mobiilirobotit lavojen sijaan, on tarpeen tutkia kokonaisuuden hintaa suhteessa siitä saatavaan hyötyyn ja kustannusten nousuun. Mobiilirobottien lisääminen kasvattaa myös automaation, logiikan ja ohjelmoinnin tarvetta.

Layouttiin valitsemani lineaarirobotit osoittautuivat parhaimmaksi vaihtoehdoksi dynamolevyjen robotisoituun siirtoon, sillä ne ovat keveitä, nopeita ja muokattavia. Kevyen rakenteensa ansiosta ne kykenevät liikkumaan nopeasti ja tarkasti. Dynamolevykappaleita on kyettävä poimimaan laajalta alueelta ja tässä prosessin vaiheessa ovat nopeus ja toistotarkkuus avainasemassa. Lineaarirobotin vaakapalkkiin on mahdollista asentaa kappaletunnistin, joka kertoo lineaarirobotille dynamolevykappaleen sijainnin. Kappaletunnistintakin parempi vaihtoehto on konenäkö. Konenäkö on digitaaliseen televisiokameraan ja automaattiseen kuvankäsittelyyn perustuva havainnointijärjestelmä/27/. Konenäön avulla kyetään tarkemmin kertomaan lineaarirobotille ja sen jälkeen tuleville roboteille kuljettimella sijaitsevat dynamolevykappaleet sekä niiden asento. Tieto kappaleiden asennosta on tärkeää, kun dynamolevyjen robotisoituun siirtoon lisätään tuurnalle ladonnan vaihe. Lineaarirobottia on myös mahdollista muokata melko vaivattomasti niin leveys kuin pituussuunnassa. Lineaarirobotti on liikeradaltaan huomattavasti laajempi kuin toisessa suunnittelemassani layout-vaihtoehdossa ollut Sideslung robotti. Sideslung robotteja käytetään lähinnä isompien kappaleiden siirrossa työstökoneelta toiselle ja näin ollen ne eivät sovellu käsittelemään ohuita dynamolevykappaleita.

Kokeilemassani vaihtoehdossa Sideslung robotti liikkui ainoastaan sivusuunnassa. Sivusuunnassa liikuttaessa dynamolevykappaleiden poiminta alue on liian kapea. Rajattu liikealue aiheuttaa sen, että kappaleita jää poimimatta. Poimimattomat kappaleet siirtyvät eteenpäin IRB 2600-20/1.65 roboteille, mutta näiden robottien tarraimet ovat suunniteltu käsittelemään ainoastaan pienempiä kappaleita. IRB 2600-20/1.65 robotit eivät selviydy lineaarirobotille suunnitellusta staattori- ja roottorilevyjen poiminnasta, johtuen tarrainten liian pienestä koosta.

Parhaaksi todetussa layout-vaihtoehdossa oleva kuljetin koostuu kolmesta eri osasta. Jokaisen kuljettimen osan nopeutta on mahdollista säätää. Näin nopeutta voidaan rytmittää dynamolevykappaleiden saapuessa robotisoituun siirtoon. Kuljettimen loppupäässä olevat IRB 2600-robotit on suunniteltu poimimaan pienempiä roottorilevyjä. IRB 2600-robotit voidaan myös ohjelmoida poimimaan jätekappaleita. Laserleikkauksen yhteydessä muodostuvia jätekappaleita on mahdollista

käsitellä myös ilman robotisoitua siirtoa. Tällöin laserleikkaimen kuljetin haarautuu ja ohjaa jätekappaleet suoraan jäteastiaan.

Opinnäytetyössäni oli mahdollista pohtia robotin tarttuvia vain pintapuolisesti. Dynamolevykappaleiden ollessa halkaisijaltaan 130 – 700mm karkeasti, täytyy tarttujan kyetä muuttamaan kokoaan kappaleen niin vaatiessa. Lisäksi tarttujan tulee kestää vähintään 1kg kuorma. Tarttujan täytyy pystyä pyörimään, kääntymään ja pyörittämään dynamolevykappaletta akselinsa ympäri ladonnan vaatiman tavan mukaisesti. Kun robotti siirtää dynamolevykappaleet tuurnalle, on robotin tarttujan kyettävä viemään dynamolevykappale tuurnalle aina pinon päällimmäiseksi. Jos robotti pudottaa kappaleen tuurnalle on pystyttävä varmistamaan, ettei kappale putoessaan pomppaa, käännä tai muuten vahingoitu. Jos yritys haluaa automatisoida tuotantoprosessia entisestään voisi tuurnan sijoittaa mobiilirobotin päälle ja tutkia myös dynamolevykappaleiden purkua mobiilirobotin päältä.

Tutkiessani dynamolevyjen robotisoitua siirtoa havaitsin, että siihen liittyvän prosessin ympärillä on erittäin monta mielenkiintoista tutkimuskohdetta. Yhtenä näistä kappaleiden merkitseminen. Dynamolevykappaleita voidaan merkitä QR-koodilla. QR-koodia käyttämällä kyetään tallentamaan kappalekohtaisia tietoja esimerkiksi leikkausajasta ja leikkauserästä. QR-koodin avulla voidaan määrittää dynamolevykappaleen haluttu asento tuurnalle ja se voidaan konenäköä hyväksi käyttäen poimia oikeassa asennossa tuurnalle. QR-koodi tehtäisiin laserilla ja työstöohjelmalla voidaan tallentaa kappaleen tasolle tarvittava tieto. Dynamolevykappaleiden merkitseminen QR-koodilla saattaa aiheuttaa muutoksia kappaleen paksuudelle kokonaisuudessa, kun kappaleita on staattori- ja roottoripaketista riippuen 700-800 kappaletta. Leikattavista kappaleista on mahdollista löytää tietoa laserleikkauksen tietokannoista.

Myös konenäön laajempi tutkiminen on mielenkiintoista. Konenäön avulla on mahdollista suorittaa laaduntarkkailua, sekä kyetä aikaisessa vaiheessa huomioimaan vialliset kappaleet ja poistamaan ne jo ennen kuin ne saapuvat dynamolevyjen robotisoituun siirtoon.

## LÄHTEET

/1/ Thomas net. Viitattu 21.5.2019 <https://www.thomasnet.com/articles/automation-electronics/history-of-robotics/>

/2/ Thomas net. Viitattu 21.5.2019 <https://www.thomasnet.com/articles/automation-electronics/history-of-robotics/>

/3/ Suomen robottiyhdistyksen verkkosivu. Viitattu 21.5.2019 <http://roboyhd.fi/wp-content/uploads/2018/04/Teollisuusrobottitilastot-2016.pdf> .

/4/ ABB Robotics Oy:n verkkosivut. Viitattu 21.5.2019. <https://new.abb.com/products/robotics/home/about-us/historical-milestones>

/5/ Robotiikan historia, verkkosivu. Viitattu 21.5.2019 <https://www.history101.com/unimate-first-industrial-robot/>

/6/ MyChrome verkkosivu. Viitattu 21.5.2019 <https://mychrome.fi/fi/machine/portaalirobotti-gr/>

/7/ Aalto-yliopiston insinöörikoulun harjoitustyö. Viitattu 21.5.2019 [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/146247/mod\\_resource/content/2/Koonpanorobotisointi.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/146247/mod_resource/content/2/Koonpanorobotisointi.pdf)

/8/ ABB Oy:n verkkosivut. Viitattu 21.5.2019. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/robotics>

/9/ ABB Oy:n verkkosivut. Viitattu 21.5.2019. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/motors-and-generators>

/10/ ABB Oy:n verkkosivut. Viitattu 21.5.2019. <https://new.abb.com/motors-generators/generators/generators-for-diesel-and-gas-engines/low-voltage-generators-for-marine-applications>

/11/ ABB Oy:n verkkosivut. Viitattu 21.5.2019. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>

/12/ ABB Oy:n pienjännitemoottorin ohjekirja. Viitattu 21.5.2019 <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3GZF500730-85&LanguageCode=fi&DocumentPartId=FI&Action=Launch>

/13/ ABB Oy:n verkkosivut. Viitattu 21.5.2019. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-910sc>

/14/ ABB Oy:n verkkosivut. Viitattu 21.5.2019. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-7600>

/15/ ABB Oy:n verkkosivut. Viitattu 21.5.2019. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360>

- /16/ ABB Oy, Motors and Generators. 2019. ABB Oy:n verkkosivut. Viitattu 21.5.2019. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/motors-and-generators>
- /17/ Suomen Robotiikkayhdistys ry. Robotiikka. (sivu 66) V. 1999
- /18/ Suomen Robotiikkayhdistys ry. Robotiikka. V 1999
- /19/ Suominen J., Kuivanen R. Robottiturvallisuus. V 1992
- /20/ Frauhofer video. Katsottu 06.01.2019 <https://www.youtube.com/watch?v=pujs6CjjaKw>
- /21/ Pihlava, A. Diplomityö. Luettu 15.05.2019 [https://www.academia.edu/23781113/Quality\\_aspects\\_in\\_remote\\_laser\\_cutting](https://www.academia.edu/23781113/Quality_aspects_in_remote_laser_cutting)
- /22/ Autodesk verkkosivu. Avattu 17.10.2019 <https://www.autodesk.fi/products/dwg>
- /23/ Kaukola, O. Insinööritö. Luettu 15.09.2019 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11174/2008-07-22-09.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- /24/ Laserkeskus verkkosivut. Avattu 10.6.2019 <https://www.laserkeskus.fi/palvelut/laserleikkaus/>
- /25/ Visual Component kotisivut. Avattu 03.02.2019 <https://www.visualcomponents.com/>
- /26/ Youtube. Visual Component videot. Katsottu 14.05.2019 [https://www.youtube.com/results?search\\_query=visual+component](https://www.youtube.com/results?search_query=visual+component)
- /27/ Robotmation. Verkkosivu. Avattu 07.07.2019 <http://www.robotmation.fi/Konenako.html>
- /28/ Jukka Tulonen. Karelia-ammattikorkeakoulu. Teollisuusrobotti. Viitattu 16.8.2019. <http://www.tki-infrat-joensuu.fi/laitteet/tuotekehitys-ja-mallinnus/teollisuusrobotti/>
- /29/ Suomen robotiikkayhdistys. Robotiikka. 20-21. 1999. Vantaa. Talentum.

